

*Досліджено роботу насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем. Побудовані енергетичні характеристики показали, що насос має достатньо високий напір ( $H=12$  м) та низьку споживану потужність ( $N=0,27$  кВт) при невеликій подачі рідини ( $Q=27$  м<sup>3</sup>/доб). Порівняльний аналіз енергетичних характеристик насосів показав, що напір насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем перевищує напір двох насосів в 2,5 рази*

*Ключові слова: насос, відцентрово-вихровий ступінь, робоче колесо, напірна характеристика, потужність, напір*

*Исследована работа насоса с комбинированной центробежно-вихревой ступенью. Построенные энергетические характеристики показали, что насос имеет достаточно высокий напор ( $H=12$  м) и низкую потребляемую мощность ( $N=0,27$  кВт) при небольшой подаче жидкости ( $Q=27$  м<sup>3</sup>/сут). Сравнительный анализ энергетических характеристик насосов показал, что напор насоса с комбинированной центробежно-вихревой ступенью превышает напор двух насосов в 2,5 раза*

*Ключевые слова: насос, центробежно-вихревая ступень, рабочее колесо, напорная характеристика, мощность, напор*

УДК 621.65

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.63723

# АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАСОСА З ВІДЦЕНТРОВО-ВИХРОВИМ СТУПЕНЕМ

М. В. Найда

Аспірант

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки

Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2,

м. Суми, Україна, 40007

E-mail: maks.nai@ukr.net

## 1. Вступ

Для насособудування достатньо гострою є проблема створення ефективного насосного обладнання для складних умов його експлуатації в різних середовищах. За останні 10 років у сфері насособудування активно впроваджуються новітні технології, направлені на вирішення проблем, що виникають в цій галузі.

В даний час актуальною є задача створення насосного обладнання, здатного максимально ефективно працювати в широких діапазонах подач, напорів, з урахуванням особливостей середовища, що перекачується. Під ефективною роботою розуміється здатність насоса забезпечити максимально можливий рівень ККД, високу надійність роботи та можливість стійко працювати як на однорідних високов'язких рідинах, так і на гідросумішах.

Для транспортування рідини в системах водопостачання, у харчовій промисловості та нафтовій промисловості широке застосування отримали відцентрово-вихрові насоси, конструктивною особливістю яких є наявність двох ступеней: відцентрової і вихрової. Відцентрово-вихрові насоси відрізняються високими експлуатаційними показниками, в яких вдало використані переваги відцентрових і вихрових, але водночас вони мають і ряд недоліків (незадовільна експлуатаційна надійність, підвищена питома металоемність насоса, значні осьові сили).

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Дослідженням відцентрово-вихрових насосів займалися ще з п'ятдесятих років минулого століття і пізніше. Наукові роботи тих років [1, 2] залишаються фундаментальними, але не дають повного аналізу для даного типу насосів, а лише описують їх роботу та конструкцію в цілому.

Провідні світові компанії (Wilo, Grundfos, Sprut та інші) докладають максимум зусиль для виготовлення нового насосного обладнання з підвищеною надійністю. Розробляються нові відцентрово-вихрові насоси з підвищеним напором [3], відцентрово-вихрові насоси для перекачування газорідної суміші, в якій допустимий вміст газу в 1,5–2 рази більший, ніж для відцентрових насосів [4]. Дані насоси мають гарні експлуатаційні показники, але відцентрова і вихрова частини насоса розташовані окремо, що робить конструкцію досить металоемною та зменшує область застосування.

На жаль, вкрай мало патентів на нові конструкції відцентрово-вихрових насосів. Ступінь відцентрово-вихрового насоса [5] та погрузного насоса [6] мають подібні конструкції. На периферії ведучого диску встановлені на зовнішній поверхні трьохсторонні комірки. Хоча ступінь і має комбінований вигляд, але напір на номінальній подачі низький. Наукові ж роботи, присвячені експериментальним і теоретичним проблемам, наприклад [3, 7], не вирішують питання вдосконалення цього виду насосів. Особливо усклад-

нює роботу з удосконалення відцентрово-вихрових насосів відсутність аналітичних залежностей, що описують характеристики відцентрово-вихрових насосів.

Значний інтерес для експлуатуючих організацій представляють модифікації, що змінюють гідродинамічну взаємодію поверхонь елементів проточної частини і робочого потоку без зміни конструкції насоса [7]. Основою підвищення ефективності відцентрових насосів є вдосконалення гідродинамічних якостей проточної частини, спрямоване на зниження втрат при передачі механічної енергії робочому потоку. Зазвичай ступені насосів виготовляють методом лиття [8]. Також для виготовлення ступенів застосовується нова для галузі порошкова технологія. Ці методи забезпечують високу точність виготовлення ступенів, а відповідно високу гідравлічну гладкість протічних каналів.

Все більш широкого застосування набувають такі способи підвищення ККД:

- гідрофобні покриття проточної частини насоса;
- впорскування повітря в рідину перед входом в насос [9];
- застосування випрямлячів потоку.

Однак, у сфері насособудування недостатньо досліджень по роботі комбінованих відцентрово-вихрових ступенів, а особливо порівняльних характеристик з відцентровими та вихровими насосами, що мають подібні геометричні розміри.

### 3. Мета та задачі дослідження

Проведені дослідження ставили за мету отримання порівняльних енергетичних характеристик насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем з відцентровими та вихровими насосами, що мають подібні геометричні розміри.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- проведення досліджень на експериментальному стенді по визначенню енергетичних характеристик насоса, а саме насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем, насоса з вихровим робочим колесом, насоса з відцентровим робочим колесом;
- порівняння відцентрово-вихрового комбінованого ступеня з відцентровим та вихровим насосами.

### 4. Опис експериментального стенду і засобів вимірювання

Для вивчення особливостей роботи відцентрово-вихрових насосів створений експериментальний стенд, що дозволяє проводити енергетичні випробування даного типу насосних ступенів для вивчення впливу частоти обертання та в'язкості рідини, що перекачується, на їх робочі характеристики.

Принципова гідравлічна схема експериментального стенду представлена на рис. 1, в табл. 1 приведений склад стенду.

Стенд працює за замкнутою схемою циркуляції робочої рідини, за яку взята вода. Рідина із бака Б, шляхом відкривання засувки 31, потрапляє в підпірний насос Н1. Він призначений для збільшення тиску на всмоктуючій лінії основного насоса Н2, для запобігання кавітації.

Із насоса Н2 рідина подається в мірний бак БМ, для визначення витрати рідини. Далі рідина потрапляє в основний бак В. В якості приводного двигуна взятий електродвигун потужністю 4 кВт, частота обертання якого регулюється за допомогою перетворювача частоти.

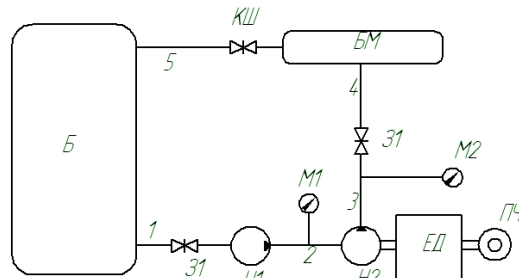


Рис. 1. Схема гідравлічна принципова експериментального стенду

Таблиця 1

Склад експериментального стенду

Позначення	Назва	Кількість
1, 4	Лінії зв'язку	3
2, 3	—//—	2
5	—//—	2
Б	Бак основний	1
31, 32	Засувка	2
Н1	Насос підпірний	1
Н2	Насос експериментальний	1
ЕД	Електродвигун	1
ПЧ	Перетворювач частоти	1
М1, М2	Манометр	2
БМ	Бак мірний	1
КШ	Кран шаровий	1

Стенд дозволяє проводити параметричні випробування проточних частин насосів в діапазоні подач 0...200 м³/доб і напорів до 50 м. До основного обладнання стенду входять: головний бак місткістю 0,22 м³; експериментальний насос потужністю 4 кВт з регульованою частотою обертання до 6000 об/хв; допоміжний насос; бак мірний місткістю 0,09 м³ для об'ємного способу вимірювання витрати рідини; вимірювальна апаратура і пульт управління, а також, система трубопроводів із запірно-регулюючою арматурою. Регулювання подачі експериментального насоса здійснюється засувкою на напірному трубопроводі. Визначення споживаної потужності та регулювання частоти обертання здійснюється за допомогою частотного перетворювача. Допоміжний насос встановлений послідовно перед експериментальним насосом. Він створює додатковий підпір на вході цього насоса з метою усунення кавітації в досліджуваних ступенях при високій частоті обертання його ротора. Експериментальна установка дозволяє проводити випробування одно- і чотириступінчастих збірок, вибраних для вивчення насосних ступенів.

Вимірювальна апаратура забезпечує можливість зняття енергетичних характеристик досліджуваного ступеня відповідно до існуючих вимог [14]. До складу комплексу вимірювальних приладів входять:

- манометр пружинний класу точності 0,4 з межею вимірювання 0–2,5 МПа для вимірювання тиску у вхідному патрубку експериментального насоса;

– зразковий пружинний манометр класу точності 0,4 з межею вимірювання 0–6 МПа для вимірювання тиску в напірній лінії експериментального насоса;

– секундомір механічний СОС пр-26-2-010 з межею вимірювання 60 хв для вимірювання часу заповнення мірного бака.

### 5. Результати експериментальних досліджень роботи насоса з відцентрово-вихровим ступенем та порівняння з відцентровим та вихровим насосами

За технічний об'єкт дослідження взята відцентрово-вихрова проточна частина. Вибраний технічний об'єкт дослідження по своєму конструктивному виконанню відноситься до малорозмірного типу робочих ступенів динамічних насосів.

Відцентрово-вихровий ступінь (рис. 2), який, маючи ті ж самі властивості, що і традиційні відцентрово-вихрові насоси, значною мірою позбавлений їхніх основних недоліків (незадовільна експлуатаційна надійність; значні осьові сили) [10, 11].

Вказана ступень по своєму конструктивному виконанню відноситься до малорозмірного типу робочих органів динамічних насосів. Дана ступень має однолопатеве відцентрове робоче колесо, що забезпечене додатковими вихровими каналами, які виконують функцію вихрового робочого колеса закритого типу, що розташовані з протилежного боку основних каналів. Кожен вихровий канал є вибіркою з увігнутим дном, виконаною по дузі. Дуга далі переходить на стороні, що взаємодіє з потоком, в прямолінійну площину. Робоче колесо однолопатеве, виконане з поєднанням кільцевих та радіальних каналів.

В ступені поєднується два робочих процеси (відцентровий та вихровий), тому цю ступень можна розглядати як поєднання трьох насосів: відцентрового насоса з однолопатевим робочим колесом та двох вихрових насосів закритого типу [1, 12, 13]. При цьому вихрові насоси працюють в паралельному режимі, а відцентровий з вихровими – в послідовному.

Випробування проводилися [14, 15] на частотах обертання 1000...3000 об/хв. (з кроком 1000 об/хв.).

За результатами проведених досліджень були побудовані енергетичні характеристики (рис. 3).

Першочерговий аналіз отриманих характеристик, які зображені в графічному виді залежностями  $H=f(Q)$ ,  $N=f(Q)$ ,  $\eta=f(Q)$ , показав наявність круто падаючого характеру зміни напірної кривої та споживаної потужності.

Для порівняння енергетичних характеристик насоса зручним є використання відношення безрозмірних коефіцієнтів напору, подачі, потужності та ККД до безрозмірних коефіцієнтів цих параметрів в оптимальній точці, а саме в точці максимального ККД при перекачуванні насосом води:  $\frac{\psi}{\psi_0}, \frac{\phi}{\phi_0}, \frac{\mu}{\mu_0}, \frac{\eta}{\eta_0}$ :

$$\psi = \frac{2gH}{u_2^2};$$

$$\phi = \frac{4Q}{\pi D_2^2 u_2};$$

$$\mu = \frac{\phi\psi}{\eta} = \frac{8N}{\rho\pi D_2^2 u_2^3 \eta},$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, 9,81 м/с<sup>2</sup>;  $u_2$  – колова швидкість робочого колеса.

За результатами проведених досліджень були отримані безрозмірні коефіцієнти напору ( $\psi_0$ ), подачі ( $\phi_0$ ), потужності ( $\mu_0$ ) та ККД ( $\eta_0$ ) в точці максимального ККД (табл. 2) та побудовані порівняльні енергетичні характеристики для частот обертання від 1000 об/хв. до 3000 об/хв. (рис. 4–6).

Таблиця 2

Основні характеристики насоса з відцентрово-вихровим ступенем

n, об/хв	$\psi_0$	$\phi_0$	$\mu_0$	$\eta_0$
1000	1,95	0,0075	0,00012	0,12
2000	3,1	0,0081	0,00048	0,14
3000	5,86	0,0086	0,00119	0,16

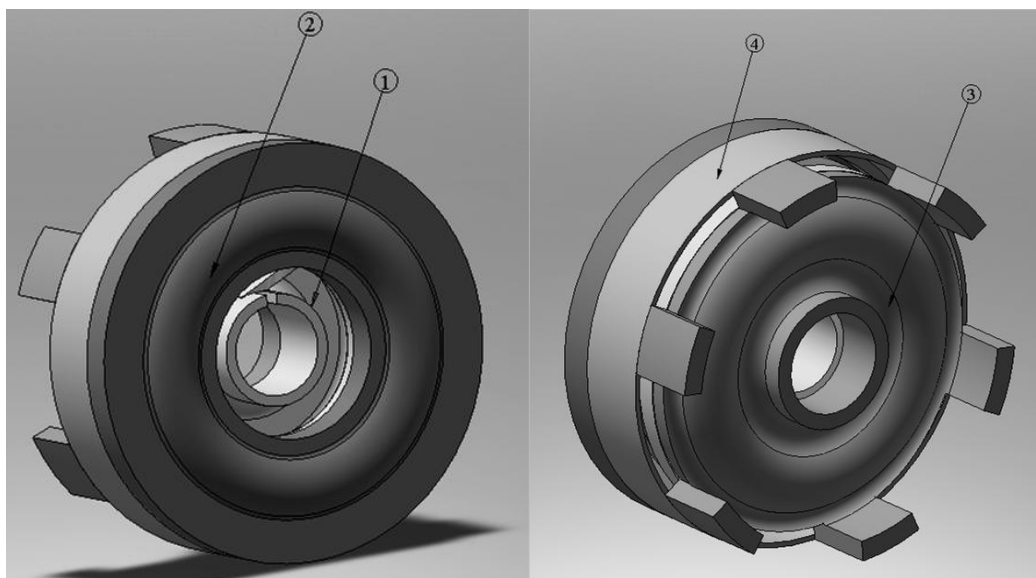


Рис. 2. Загальний вид ступені: 1 – робоче колесо; 2 – передня вихрова ступень; 3 – задня вихрова ступень; 4 – корпус робочого колеса

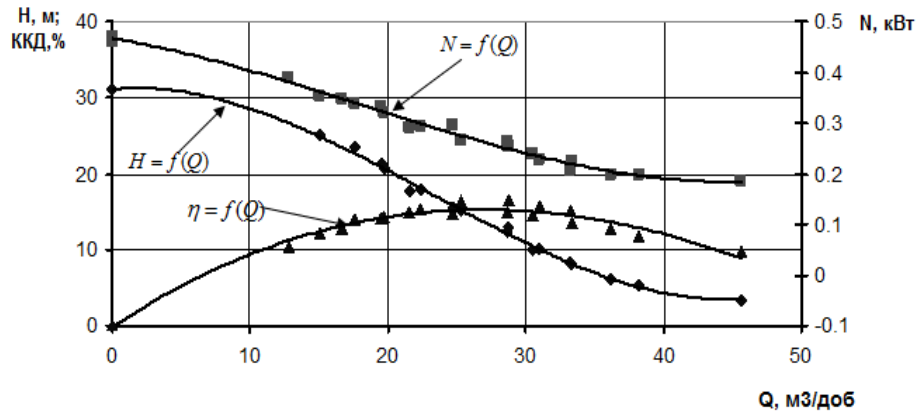


Рис. 3. Робочі характеристики насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем при  $n=3000$  об/хв,  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup>

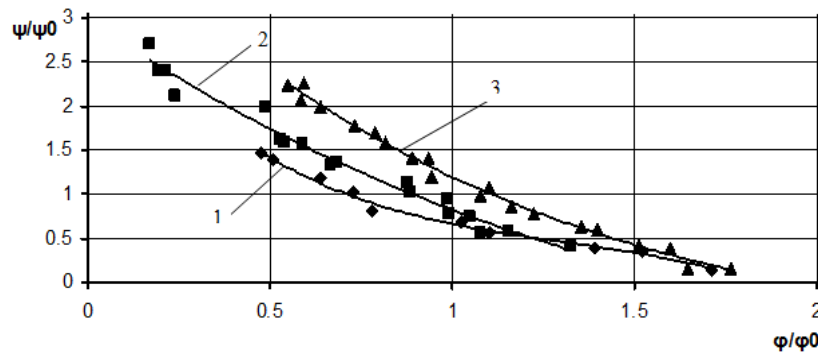


Рис. 4. Порівняльна напірна характеристика насоса з відцентрово-вихровим ступенем:  
1 – 1000 об/хв, 2 – 2000 об/хв, 3 – 3000 об/хв

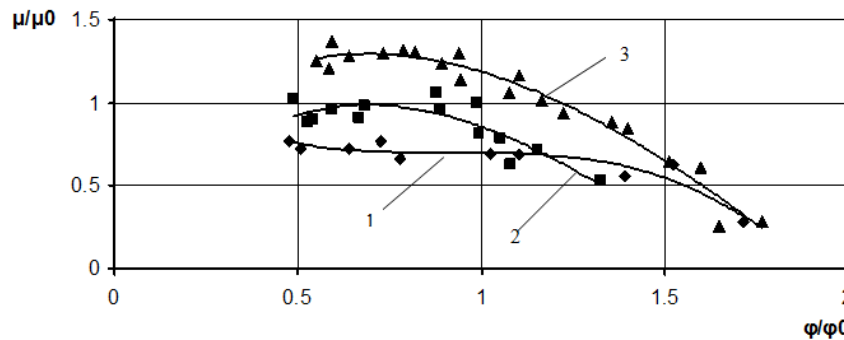


Рис. 5. Порівняльна характеристика потужностей насоса з відцентрово-вихровим ступенем:  
1 – 1000 об/хв, 2 – 2000 об/хв, 3 – 3000 об/хв

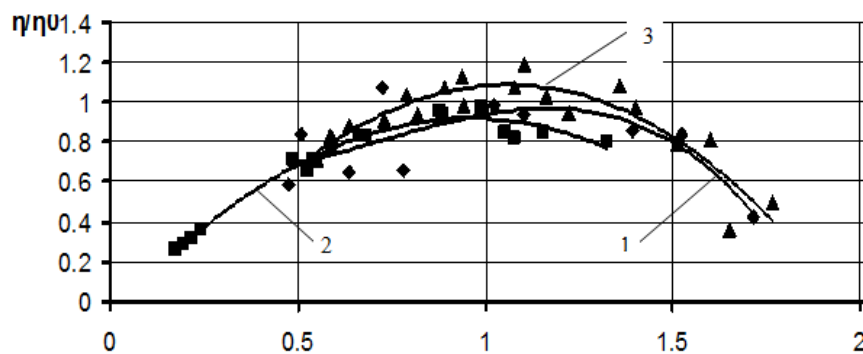


Рис. 6. Порівняльна характеристика ККД насоса з відцентрово-вихровим ступенем:  
1 – 1000 об/хв, 2 – 2000 об/хв, 3 – 3000 об/хв

Наступним етапом для порівняння відцентрово-вихрового комбінованого ступеня з відцентровим та вихровим насосами були проведені експерименти.

В попередньому ступені поєднується два робочих процеси, при цьому вихрові насоси працюють в паралельному режимі, а відцентровий з вихровими – в послідовному.

Тому для порівняння в якості відцентрового насоса досліджувався малогабаритний відцентровий насос типу «ЕЦН», який має подібні геометричні розміри робочого колеса.

Показники для вихрового насоса були зняті при експерименті вихрового насоса «Novax».

За результатами проведених досліджень були отримані безрозмірні коефіцієнти напору ( $\psi_0$ ), подачі ( $\phi_0$ ), потужності ( $\mu_0$ ) та ККД ( $\eta_0$ ) в точці максимального ККД (табл. 3) та зроблений порівняльний аналіз робочих характеристик досліджуваного насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем та відцентровим і вихровим насосами в точці максимального ККД (рис. 7–9).

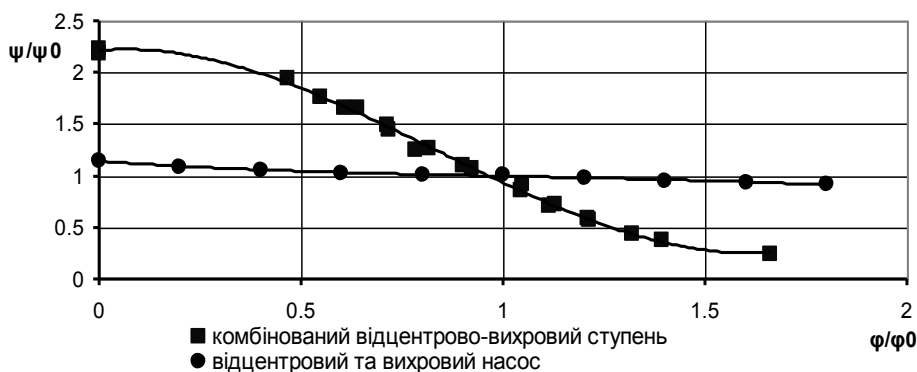


Рис. 7. Порівняльний аналіз напірних характеристик досліджуваного насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем та відцентровим і вихровим насосами в точці максимального ККД

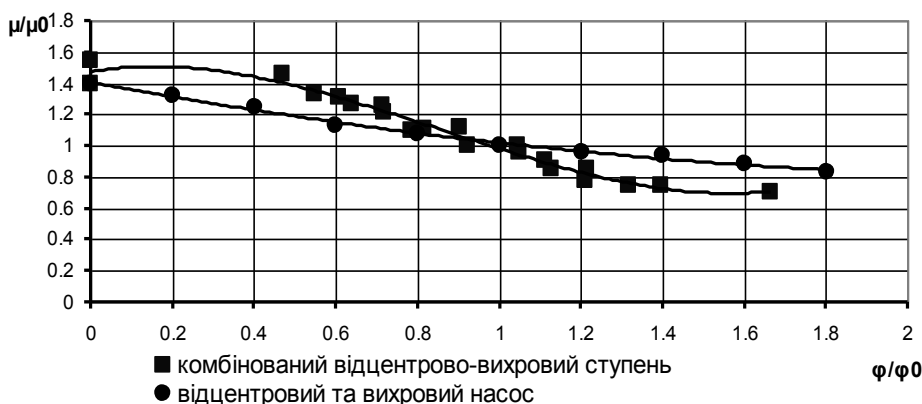


Рис. 8. Порівняльний аналіз характеристик потужностей досліджуваного насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем та відцентровим і вихровим насосами в точці максимального ККД

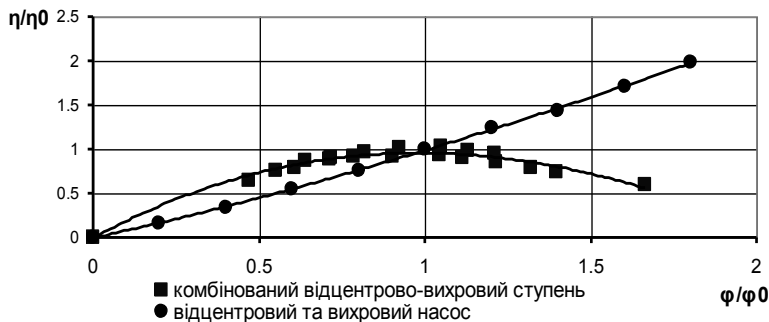


Рис. 9. Порівняльний аналіз характеристик ККД досліджуваного насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем та відцентровим і вихровим насосами в точці максимального ККД

Таблиця 3

Основні характеристики в точці максимального ККД

Безрозмірні коефіцієнти	$y_0$	$j_0$	$m_0$	$h_0$
Насос з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем	2,44	0,07	0,01	0,16
Відцентровий та вихровий насос	3,01	5,90	1,42	0,12

Порівнюючи енергетичні характеристики роботи насоса з відцентрово-вихровим ступенем і відцентрового та вихрового насоса можна зробити висновки, що на порівняльній напірній характеристиці видно, що напір насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем перевищує напір двох насосів; з характеристики потужностей видно, що різниця між потужністю насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем та відцентровим і вихровим насосами не значна, а ККД, на відміну від напору та потужності, менший.

## 6. Аналіз експериментальних досліджень роботи насоса з відцентрово-вихровим ступенем та порівняння з відцентровим та вихровим насосами

Отримані робочі характеристики насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем. Встановлено, що насос має достатньо високий напір при невеликих значеннях витрати рідини, але при цьому він має низький ККД. Причиною низького значення ККД цього насоса є наступне:



- значний вплив об'ємних втрат ступені через торцеві зазори в порівнянні з самою витратою насоса;
- вплив гідравлічних втрат, які виникають у вихрових каналах передньої та задньої вихрових ступеней;
- робота відцентрового робочого колеса в режимі недогрузки.

З характеристики можна зробити висновок, що для збільшення напірності в діапазоні витрат від 0 до 38 м<sup>3</sup>/доб більш ефективним є використання насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем.

За результатами аналізу проведених випробувань можна прийти до висновків, що область застосування насосів з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем достатньо обмежена. Але на відміну від традиційних відцентрових насосів властивість самовсмоктування насосів з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем наділяє їх перевагами за антикавітаційними показниками. Тому їхнє використання є більш доцільним в зоні низьких подач і високих напорів, в системах створення високого тиску. Також дане конструктивне виконання комбінованого ступеню дає можливість зменшити металоємність конструкції в порівнянні з комбінацією двох насосів.

Дане дослідження дозволило отримати нові характеристики комбінованого відцентрово-вихрового ступеня та порівняти їх з характеристиками відцентрового та вихрового насосів, що мають подібні геометричні розміри. За допомогою даних характеристик в подальшому можливе удосконалення відцентрово-вихрових насосів.

Також отриманий результат в наступних роботах буде використаний для отримання аналітичних за-

лежностей, що описують характеристики відцентрово-вихрових насосів.

## 7. Висновки

1. На експериментальному стенді по визначенню енергетичних характеристик насоса були проведені дослідження відцентрово-вихрового насоса з комбінованим ступенем. За результатами дослідження побудовані енергетичні характеристики  $H=f(Q)$ ,  $N=f(Q)$ ,  $\eta=f(Q)$ . Першочерговий аналіз отриманих характеристик показав наявність круто падаючого характеру зміни напірної кривої та споживаної потужності.

Також проведенні випробування насоса з відцентровим робочим колесом та насоса з вихровим робочим колесом, що мають подібні геометричні розміри. Дані результати використовувалися для порівняльного аналізу.

2. За результатами проведених досліджень були отримані безрозмірні коефіцієнти напору ( $\psi_0$ ), подачі ( $\phi_0$ ), потужності ( $\mu_0$ ) та ККД ( $\eta_0$ ) в точці максимального ККД та зроблений порівняльний аналіз робочих характеристик досліджуваного насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем та відцентровим і вихровим насосами в точці максимального ККД.

Напір насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем перевищує напір двох насосів; з характеристики потужностей видно, що різниця між потужністю насоса з комбінованим відцентрово-вихровим ступенем та відцентровим і вихровим насосами не значна, а ККД, на відміну від напору та потужності, менший.

## Література

1. Спасский, К. Н. Новые насосы для малых подач и высоких напоров [Текст] / К. Н. Спасский, В. В. Шаумян. – М.: «Машиностроение», 1972. – 160 с.
2. Купряшин, Н. Н. Центробежно-вихревые насосы [Текст] / Н. Н. Купряшин // «Вестник машиностроения». – 1952. – № 3. – С. 24–27.
3. Tihomir, M. Improving centrifugal pump by adding vortex rotor [Text] / M. Tihomir, M. Srđan, K. Živko // Tehnicki vjesnik. – 2013. – Vol. 20 Issue 2. – P. 305.
4. Zhu, Z. Design and Experimental Analyses of Small-flow High-head centrifugal-vortex Pump for Gas-Liquid Two-phase Mixture [Text] / Z. Zhu, P. Xie, G. Ou, B. Cui, Y. Li // Chinese Journal of Chemical Engineering. – 2008. – Vol. 16, Issue 4. – P. 528–534. doi: 10.1016/s1004-9541(08)60116-0
5. Пат. 2232297 Рос. Федерация: F04D1/06, F04D13/08/. Ступень центробежно-вихревого насоса [Текст] / Рабинович А. И. – заявитель и патентообладатель Рабинович А. И. – № 2002116886/06; заявл. 24.06.2002; опубл. 27.12.03. – 5 с.
6. Пат. 2138691 Рос. Федерация: F04D13/10, F04D1/06, F04D31/00/. Ступень погружного многоступенчатого насоса [Текст] / Рабинович А. И. – заявитель и патентообладатель Рабинович А. И. – № 97120198/06; заявл. 25.11.97; опубл. 27.09.99. – 4 с.
7. d'Agostino, L. Rotodynamic fluid forces on whirling and cavitating radial impellers [Text] / L. d'Agostino, M. R. V. Autieri // Fifth International Symposium on Cavitation. – Osaka, Japan, 2003.
8. Miholic, T. Performances and flow analysis in the centrifugal vortex pump [Text] / T. Miholic, Z. Guzovic, A. Prodin // Journal of Fluids Engineering. – 2013. – Vol. 135, Issue 1. – P. 011107. doi: 10.1115/1.4023198
9. Колісниченко, Э. В. Рабочий процесс динамических насосов нетрадиционных конструктивных схем на газожидкостных смесях [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук / Э. В. Колісниченко. – Сумы, 2007. – 167 с.
10. Антоненко, С. С. Методика проведення експериментальних досліджень роботи відцентрово-вихрових ступеней на високо-в'язких рідинах [Текст] / С. С. Антоненко, Е. В. Колісниченко, М. В. Найда // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2010. – № 2. – С. 7–13.
11. Колісниченко, Е. В. Експериментальне дослідження роботи насоса з відцентрово-вихровою ступенню [Текст] / Е. В. Колісниченко, М. В. Найда, С. О. Хованський // Вісник національного технічного університету «ХПІ» (Тематический выпуск «Новые решения в современных технологиях»). – 2011. – № 34. – С. 119–123.
12. Байбаков, О. В. Вихревые гидравлические машины [Текст] / О. В. Байбаков. – М.: Машиностроение, 1981. – 197 с.
13. Яхненко, С. М. Гидродинамические аспекты блочно-модульного конструирования динамических насосов [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / С. М. Яхненко. – Сумы, 2003.
14. ГОСТ 6134-87. Насосы динамические, методы испытаний [Текст]. – Введ. 01.01.89. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 29 с.
15. Яременко, О. В. Испытания насосов [Текст]: справ. пос. / О. В. Яременко. – М.: Машиностроение, 1976. – 225 с.